

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Symbole und Abkürzungen	5
Kurzfassung der Arbeit	13
Extended Abstract	15
1 Motivation und Zielsetzung	17
1.1 Zielsetzung der Arbeit	18
1.2 Aufbau der Arbeit	18
2 Verwendete Methoden zur Tiefenmessung	21
2.1 Stand der Technik	21
2.1.1 Indirekte Tiefenmessung	21
2.1.2 Direkte Tiefenmessung	23
2.2 Allgemeine Definitionen für diese Arbeit	24
2.3 Allgemeiner Versuchsaufbau	25
2.4 Messung der Kapillartiefe mittels Hochgeschwindigkeits-Röntgenanlage	27
2.4.1 Schattenprojektion	28
2.4.2 Abschwächung von Röntgenstrahlung	30
2.4.3 Auswertung der Röntgenbilder – Zeitschnitt	32
2.5 Tiefenmessung mittels In-Process Depth Meter (IDM)	34
2.5.1 Messprinzip des IDM	34
2.5.2 Eigenschaften eines OCT Messsystems	38
2.5.2.1 Axiale Auflösung	38
2.5.2.2 Laterale Auflösung	39
2.5.2.3 Eindeutigkeitsbereich des Weglängenunterschieds	39
2.5.2.4 Eigenschaften des IDM	40
3 Bestimmung der Kapillartiefe	41
3.1 Bestimmung der optischen Pfadlänge	41

3.1.1	Brechungsindex.....	42
3.1.1.1	Temperaturabhängigkeit des Brechungsindizes von optischen Elementen (Zone A)	43
3.1.1.2	Heißes Gas (B, C, D).....	44
3.1.1.3	Fehlerbetrachtung der optisch gemessenen Pfadlänge aufgrund der Brechungsindexänderung.....	48
3.1.2	Geometrische Pfadlänge.....	50
3.1.2.1	Einfacher Raytracing-Algorithmus („Raytracer“)	50
3.1.2.2	Test der Funktion anhand von Modellgeometrien.....	57
3.1.2.3	Reale Kapillargeometrien.....	60
3.2	Verifikation der gemessenen Kapillartiefe	65
3.3	Schlussfolgerung zur Kapillartiefenmessung	70
4	Methode zur Bestimmung der Nahttiefe aus der gemessenen Kapillartiefe	71
4.1	Analyse des IDM-Tiefensignals	74
4.1.1	Einteilung des Tiefensignals in charakteristische Bereiche	74
4.1.1.1	Einteilung mittels Punktdichte	75
4.1.1.2	Einteilung mittels Rauschwahrscheinlichkeit	77
4.1.2	Bestimmung der Nahttiefe	82
4.1.3	Geeignete Einstellungen der Perzentile und der Fensterlänge.....	84
4.2	Experimentelle Validierung	85
4.3	Schlussfolgerung zur Bestimmung der Nahttiefe.....	88
5	Regelung der Nahttiefe beim Laserstrahl-tiefschweißen	89
5.1	Aufbau des verwendeten Regelkreises.....	90
5.1	Tiefe der Kapillare bei Leistungsänderung.....	91
5.1.1	Modulation der Laserleistung	92
5.1.1.1	Sinusförmige Leistungsmodulation.....	93
5.1.1.2	Rampenförmige Leistungsmodulation	94
5.1.1.3	Sprungförmige Leistungsmodulation.....	95
5.1.1.4	Reaktion der Laserleistung auf die Vorgabewerte.....	96
5.1.2	Charakterisierung des Systems aus dem Frequenzgang	97
5.1.3	Rampenantwort	101
5.1.4	Sprungantwort.....	103

5.1.5	Trajektorie der Kapillartiefe und der Leistung	106
5.1.5.1	Hysteresee bei sinusförmiger Leistungsmodulation.....	106
5.1.5.2	Hysteresee bei Leistungsrampe und Leistungssprung.....	108
5.1.6	Zeitliche Tiefenänderung der Kapillare als Funktion der zeitlichen Leistungsänderung.....	111
5.1.7	Schlussfolgerung zur Reaktion der Tiefe auf eine Laserleistungsänderung	113
5.2	Reglerparameter	113
5.2.1	Test der Reglerparameter.....	115
5.2.2	Leistungs- und Tiefenänderung	119
5.3	Evaluation der Regelung	120
5.3.1	Kapillartiefe bei geregelter Laserleistung	120
5.3.2	Nahttiefe bei geregelter Laserleistung	125
5.4	Schlussfolgerung zur Regelung der Kapillar- und Nahttiefe	129
6	Zusammenfassung	131
7	Literatur- und Quellenverzeichnis	135
8	Danksagung	141